E/CONF.39/A/182
27 Oct.1962
ORIGINAL : FRANCAIS

CONFÉRENCE DES NATIONS UNIES
SUR L'APPLICATION DE LA SCIENCE ET DE LA TECHNIQUE
DANS L'INTÉRÊT DES RÉGIONS PEU DÉVELOPPÉES

Point de l'ordre du jour : A.5.2.1 Italie

METHODES DE PROSPECTION GEOCHIMIQUE

Par M. DALL'AGLIO,
Section de Géochimie,
Divisione Geomineraria C.N.E.N.,
Casaccia, S. Maria di Galeria,
Roma, Italie

F. TONANI,
Institut de Minéralogie de l'Université,
Piazza S. Marco 4,
Firenze, Italie

Les mémoires rédigés à l'intention de la Conférence des Nations Unies sur l'application de la science et de la technique dans l'intérêt des régions peu développées sont des documents de travail. Ils sont publiés tels qu'ils ont été présentés et les assertions et opinions qu'ils contiennent sont celles de leurs auteurs.

NOTES

1. Les mémoires choisis pour être présentés en séance générale pourront être obtenus à la Conférence dans les langues officielles suivantes des Nations Unies: anglais, espagnol, français et russe.

2. Les mémoires choisis pour être présentés en séance spéciale pourront être obtenus à la Conférence dans l'une seulement de ces langues officielles.

3. Les résumés qui ont été rédigés pour tous les mémoires par les auteurs de ceux-ci pourront être obtenus à la Conférence dans les langues officielles suivantes des Nations Unies: anglais, espagnol, français et russe.

4. Préalablement à la Conférence, les mémoires et les résumés ne feront pas l'objet d'une distribution générale mais d'un tirage restreint destiné aux délégations des gouvernements et autres participants officiels. La publication et la distribution générale des actes de la Conférence s'effectueront conformément aux règles et pratiques agréées par le Comité des publications des Nations Unies.

METHODES DE PROSPECTION GEOCHIMIQUE.

M. Dall'Aglio, Section de Géochimie - Divisione Geomineraria C.N.E.N. Casaccia, S. Maria di Galeria - ROMA (Italie)
F. Tonani, Institut de Minéralogie de l'Université, Piazza S. Marco 4 - FIRENZE (Italie)

Principe de la prospection géochimique

1. La prospection géochimique se base sur le fait que nombre de processus produisent dans les différents milieux naturels des concentrations anomales des éléments accumulés dans de gîtes, aux environs de celles-ci. Il s'agit de concentrations bien éloignées des concentrations exploitables, mais aperçevablement supérieures aux teneurs des mêmes éléments observables dans les mêmes milieux naturels en l'absence d'une gîte industrielle.

2. On indique le résultat des processus mentionnés ci-dessus par de termes tels que "halos" ou "auréoles" qui nous rappellent: a) - que l'étendue des régions anomales est plus grande des gîtes; b) - l'existence d'une décroissance des teneurs au fur et à mésure qu'on s'éloigne des gîtes (gradient).

3. L'étendue des halos est un facteur important dans l'économie de la prospection géochimique. On peut envisager la prospection géochimique comme l'une des méthodes d'exploration convenables dès le moment où les frais en plus demandés par le levé des teneurs à l'échelle de l'étendue des halos deviennent comparables aux frais en plus demandé par l'inspection à l'échelle des affleurements directement reconnaissables. A côté des méthodes géophysiques qui sont en général indirectes la prospection géochimique est d'ailleurs la seule forme d'inspection directe dans le cas des gîtes non affleurantes.

4. L'étendue des halos ainsi que leur forme dépend des déplacements qui affectent la matière des différents milieux naturels, tels que les atmosphères gazeuses, les eaux, les agrégés plus ou moins cohérents de parcelles solides. Tout le long les vallées des fleuves l'auréole devient une véritable traînée de dispersion suivant le drainage, soit qu'il s'agit d'une auréole clastique dans les alluvions, ou d'une auréole hydrogéochimique dans les eaux vadoses.

5. La recherche géochimique fondamentale est aussi importante. La reconnaissance des provinces métallogéniques ou la reconstruction

des processus minérogénétiques ne peuvent pas se passer de l'étude géochimique plus que de l'étude géologique. Il nous semble cependant que dans la perspective d'un pays en cours de développement, qui doit bâtir son industrialisation dans de conditions difficiles, la prospection géochimique sensu stricto envisagée ci-dessus présente plus intérêt dans l'immédiat. Les raisons en sont: a) - le résultat industriel est proche, par rapport à l'échelle employée; b) - les frais sont modérés; c) - les informations qu'on obtient au cours de certaines prospections peuvent être signifiantes aussi pour de recherches fondamentales telles que l'hydrogéologie. C'est justement le cas des méthodes de reconnaissance régionale hydrogéochimique auxquels ces notes-ci se tournent surtout dans leur partie plus détaillée.

Types plus importants de méthodes de prospection géochimique

6. Suivant un critérium désormais accepté par beaucoup de spécialistes en Europe nous employons une classification opérationnelle basée sur des données atteignables "a priori". En fait, on ne peut pas préparer des programmes qui se fondent même indirectement sur des propriétés des gîtes qu'on ne connait pas encore. Considérons alors: a) le but de la recherche; b) les propriétés des milieux naturels. Si pour simplifier nous tranchons toute nuance les facteurs primaires dans l'économie de la prospection en resultent, respectivement, l'échelle de l'objectif et l'étendue des halos.

7. Les buts proposés peuvent être classés comme ci-dessous.
a) - Reconnaissance régionale. Rechercher les indices de l'existence ou non de gîtes par zones encore assez étendues (de l'ordre de 100 kmq). On peut dire qu'on accepte en principe le caractère aléatoire des indices, qu'on obtient en piquant des teneurs anomales plutôt qu'en reconnaissant des halos par de distributions entières de teneurs anomales. Souvent on se propose de déterminer les régions où manquent les perspectives raisonnables pour d'investissements successifs. Le but peut être enfin, ce qui est plus compréhensif, de partager une région plus vaste en zones rangées d'après leurs perspectives pour des ressources minières.
b) - Prospection stratégique. Individuation d'une surface limitée, disons de 100 à 10 kmq, dans laquelle est très probable l'existence d'une gîte. On vise en général aussi à d'indices de sa situation.
c) - Prospection tactique. Découverte d'affleurements ou localisation proche de gîtes non affleurantes.

8. Il convient de classer les différents milieux géochimiques d'après l'ordre de grandeur de l'étendue des halos, à savoir de la maille la plus grande qu'on peut adopter dans l'échantillonnage si on ne veut pas manquer les teneurs anomales. La persistence des halos peut être grossièrement estimée soit par de simples calculations

soit empiriquement, se passant de toute différence dans les conditions locales. On trouve assez couramment: 10 à 1 km dans les eaux vadoses; 1 km à 100 m dans les alluvions, dans les gaz du sous-sol; 100 à 10 m dans les sols. Puisque l'échelle des objectifs de recherche et l'étendue des halos varient beaucoup, et il y a une corrélation appreciable entre les buts de la recherche et la nature du matériel à analyser, Nous sommes maintenant en mésure de construer la table suivante.

9. Corrélation d'après l'échelle entre les buts de la recherche et les milieux géochimiques à échantillonner:

Milieu géochimique / Type de prospection	Eaux vadoses	Alluvions		Sols
		Eaux phréatiques		
		Gaz du sous-sol		
Reconnaissance régionale	10 km			
Prospection stratégique	1 km	1 km		
		100 m		
Prospection tactique				100 m
				10 m

Les dimensions indiquées dans la table ci-dessus sont les simples ordres de grandeur. Toute nuance a été tranchée, et en surenchère on a souligné les conditions plus typiques et plus importantes.

10. D'après la table du précédent paragraphe on peut simplifier les choses: au moins pour de buts d'exposition. Dans ce qui suit nous nous bornerons en fait aux cas plus favorables et plus importants dans les applications connues, à savoir:
a) - reconnaissance régionale - par d'analyses d'eaux vadoses;
b) - prospection stratégique - premièrement par d'analyses d'alluvions;
c) - prospection tactique - par d'analyses de sols.
Quoique schématique, cet exposé va demeurer assez adhérent à une réalité plus complexe. En fait par exemple beaucoup de choses qu'on dira au sujet de la reconnaissance régionales dans les eaux vadoses sont valables aussi pour la prospection stratégique hydrogéochimique, qu'y est proche et dont on ne parle presque pas ici. Nombre de considérations à l'égard des alluvions ou des sols demeurent valables pour les termes intermédiaires non considérés; et ainsi de suite.

Exemples d'applications concrètes

11. Il faut d'abord distinguer les exemples de reconnaissance régionale portant sur les eaux vadoses, à laquelle se rapporte la table du paragraphe 9, de la reconnaissance régionale portant sur les eaux de source, donc phréatiques près. Celles-ci "caractérisent les formations géologiques les plus importantes, les intrusions entre elles". Une telle recherche vise "l'éclairement des principales particularités métallogéniques de la région" (Brodskij A.A., Méthodes hydrogéochimiques de recherche des gisements miniers, dans: La recherche géochimique des gisements miniers en U.R.S.S., réd. V.I. Krasnikov, Moscou 1957).

12. La reconnaissance régionale par les traînées de dispersion vadose a donné de bons résultats en Italie pour l'uranium, le zinc et le fluor, pour lesquels on visait des indices directement signifiants au point de vue minier. En principe, l'uranium et le fluor offraient même des difficultés. En fait l'uranium peut être précipité par de substances organiques ou par un milieu réducteur, le fluor atteint facilement la limite de saturation par rapport à la fluorite CaF_2. Par conséquent les exemples ci-dessus suggèrent qu'il est pratiquement possible d'envisager dès maintenant une reconnaissance régionale pour tout élément dont on connait déjà d'exemples positifs de prospection stratégique dans les eaux vadoses. Tels sont par exemple, outre U, Zn, F, aussi Cu, Ni, Mo, Ag, B. D'après d'expériences en cours d'extension nous sommes en mésure d'ajouter comme très probablement possible la prospection hydrogéochimique stratégique d'un élément tel que le Be.

13. La prospection stratégique dans les alluvions et dans les eaux simultanément a été pratiquée pour la recherche de l'uranium et de gisements polymétalliques. Etain et tungstène ont été prospectés dans les alluvions.

14. La prospection géochimique tactique est utilisable en principe pour n'importe quel élément. Les limitations de son emploi proviennent plutôt du choix des conditions les plus convenables par rapport à d'autres méthodes et aux particularités de chaque recherche. Dès les débuts la prospection géochimique en U.S.A. à été employée à l'échelle tactique dans les roches et dans les sols pour Zn, Pb, Cu. Dépuis elle a été adaptée à nombre d'éléments, dont citons le cobalt, l'étain, le tungstène; même la prospection de l'uranium a été effectuée avec avantage par voie géochimique directe bien qu'ils existent les méthodes radiométriques qui sont déjà très aisées. La prospection géochimique tactique a été aussi élaborée pour des conditions différentes, citons l'emploi de l'arsenic comme indicateur parce qu'il donne des halos bien développés, ou l'étude des halos

du zinc au fin de découvrir les enrichissements aurifères dans les sédiments des rivières. Des prospection d'éléments de prix tels que l'argent à côté du plomb, l'or ou le vanadium dans les produits de la destruction des gisements de pyrite ou d'autres minerais, contribuent à l'estimation de la valeur des gisements mêmes à l'échelon "tactique". Pour des éléments assez mobiles comme le zinc on a décélé des gisements non affleurants par leurs "anomalies de fuite" le long des failles, mais inversement la prospection tactique a parfois permis de tracer de lignes tectonique. Nombre de prospections tactiques effectuées en U.R.S.S. portent sur d'éléments tels que le fluor, le bore ou le barium, mais visant la découverte des voies parcourues par les solutions hydrothermales. Enfin la prospection géochimique tactique dite "intégrée" a été employée pour étudier des indices géophysiques non spécifiques, par exemple des anomalies de résistivité. Cette méthode intégrée avait été employée depuis longtemps pour le nickel, mais elle est couramment utilisée en Yougoslavie pour le mercure.

Procédés (ayant égard en particulier à la reconnaissance hydrogéochimique régionale)

15. Le procédé de reconnaissance hydrogéochimique régionale consiste à prendre des essais sur le reseau hydrographique. D'après notre expérience il vaut mieux d'indiquer le nombre des prises d'échantillon par rapport à la surface drainée. Celle-ci est de l'ordre de quelques dizaines par millier de kmq et correspond en général à une maille linéaire de l'ordre de 5 à 10 km sur le réseau hydrographique. La maille depend cependant du but de la recherche. à savoir de l'élément à chercher, de la moindre masse exploitable industriellement, etc., et des conditions naturelles, ainsi que le climat, l'hydrographie etc.. On dose le ou les éléments cherchés, et on peut déterminer la conductivité, la composition fondamentale, de traces d'autres indicateurs, le pH ou d'autres paramètres physico-chimiques.

16. La connaissance d'un certain nombre de paramètres permet d'effectuer des corrélations, équivalentes à une diminution des fluctuations naturelles des teneurs, qui tendraient autrement à dérober les vrais halos. Tout le reste égal, ceci revient à une diminution dans le nombre d'échantillons à examiner pour décéler des anomalies, ce qui permet justement d'atteindre l'échelle qu'on a appelé "reconnaissance régionale". Il y a de limites au dessous desquels ce surplus de travail analytique non seulement est en soi même payé par les résultats, mais il en finit pour n'alourdir pratiquement pas les frais de recherche. Par exemple notre expérience en Italie a montré que cette condition demeure larguement valable pour l'analyse fondamentale complète des eaux, grâce aux techni-

ques d'analyse aujourd'hui disponibles. Nous avons pu les utiliser dans les conditions de la prospection par de modestes mises au point des méthodes et par une propre organization du travail, entraînement du personnel y étant compris.
D'après notre expérience un choix judicieux des paramètres et des limites dans lesquels il convient maintenir le travail chimique analytique par échantillon permet les considérables économies attachées à la reconnaissance régionale par rapport à la prospection stratégique.

17. Le traitement des résultats joue un rôle primaire dans ce procédé en suite de l'importance du rôle joué par les corrélations (v. 16). Nous avons fait recours avec avantage aux centres électrocomptables et de calcul électronique, ce qui a représenté dans notre cas la solution la plus économique, mis à part les avantages à longue échéance provenant de la disponibilité d'un archive en fiches perforées.

18. Le procédé de prospection géochimique stratégique par analyse des alluvions se rapporte au contraire à des schémas classiques tels que l'exploration par le panning. Il consiste à prendre des essais des traînées sédimentaires, distribués tout le long des vallées, mais ainsi qu'il se trouve indiqué dans la table du paragraphe 9 la densité de l'échantillonnage doit demeurer bien plus élevée que dans la reconnaissance régionale (ordre de 1 échantillon par kilomètre carré). Notre expérience particulière à l'égard de la prospection de l'uranium dans les Alpes a montré par exemple que l'hétérogénéité sédimentogéne peut produire dans ce cas de fausses anomalies, en dérobant les vrais halos. L'effort d'interpréter les fluctuations naturelles pour en tenir compte se heurte contre de difficultés techniques plus grandes par rapport à l'étude des eaux. La méthode par analyses des alluvions est au contraire moins affectée par de limitations ayant égard à l'aridité du climat.

19. Les prospections géochimiques tactiques portent en général sur les sols. La maille d'échantillonnage est de l'ordre des dizaines de mètres, parce qu'en principe l'objectif est de déterminer la distribution des teneurs, à savoir la forme du halos. La morphologie affecte beaucoup l'interprétation soit directement, soit indirectement. La morphologie détermine en fait avec d'autres facteurs des conditions telles que la dispersion et la différentiation du sol, le drainage, la situation de la table d'eau, le microclimat, etc..

Prix de revient de la prospection géochimique

20. Reconnaissance régionale (hydrogéochimique). Son prix de revient pour de conditions de l'ordre indiqué ci-dessus (v. par ex.

le paragraphe 15), dans un pays européen ou équivalent à peu près, est de l'ordre de 5 dollars par kilomètre carré pour la reconnaissance des ressources d'un ou plusieurs éléments. Ce chiffre peut être considéré valable pour une extension minime de 5000 kmq.

21. Prospection stratégique. On peut calculer l'ordre de 100 dollars par kilomètre carré par rapport à de conditions semblables à celles décrites ci-dessus. Ce chiffre étant un simple orientement qui se rapporte à de conditions très variables en concret, il peut être accepté à ce titre aussi pour la prospection hydrogéochimique à la même échelle.

22. Prospection tactique. Il faut tenir compte que dans ce cas le prix de revient est plus strictement proportionnel au nombre d'échantillons. On peut estimer les frais entre 5 et 10 dollars par échantillon, à savoir l'ordre de 10.000 dollars par kilomètre carré.

Quelques perspectives de l'emploi de la prospection géochimique dans l'intérêt des pays en cours de développement.

23. La prospection géochimique est un outil très souple au régard de l'échelle et des objectifs. Elle peut viser des buts qui vont d'une reconnaissance régionale jusqu'à la prospection détaillée qui conduit à l'identification d'une gîte, et le même personnel une fois entraîné peut être employé pour la recherche d'éléments différents.
La prospection géochimique est aussi peu coûteuse rélativement à beaucoup d'autres méthodes comparables. Ses résultats touchent directement à d'objectifs miniers dès les premières étapes, tandis qu'il lui faut un modeste degré d'intégration par d'autres connaissances, par exemple d'abord les connaissances géotectoniques (v. paragraphe 25).

24. La reconnaissance régionale, ou la prospection stratégique dans quelques cas, nous semble en particulier très intéressante dans l'immédiat pour les pays en cours de développement. Avec un engagement rélativement modeste, du même ordre que ce qui est nécéssaire pour dresser une carte géologique, ce type de prospection géochimique peut donner d'informations sur l'éxistence et la situation des zones promisantes de régions étendues, dans un délais rélativement court, permettant ainsi de mieux distribuer les efforts dès le début.

25. A ce sujet il nous semble d'un intérêt particulier de signaler la combinaison de la réconnaissance régionale avec les travaux aérogéologiques, sur une même base logistique, économique et opératoire. Le rapport des frais respectifs et la corresmpondence des conditions opératoires paraissent dans quelques cas très satisfaisants.

26. En concluant notre expérience a montré que les eaux vadoses of

frent d'excellentes perspectives. Elles constituent un milieu plus homogène au point de vue physico-chimique, tandis que les eaux phréatiques reproduisent la distribution locale dans les roches plus l'effet variable du gradient vertical des paramètres physiques et chimiques. En particulier les eaux vadoses paraissent plus favorables à la reconnaissance régionale lorsqu'on demande des indices signifiants au point de vue minier plutôt que scientifique. Le variations naturelles inévitables s'y trouvent à une échelle plus large. Ces variations sont aussi plus faciles à contrôler dans ce cas du simple fait que l'analyse chimique des eaux vadoses est plus aisée que, par exemple, l'analyse chimique ou minéralogique de produits solides tels que les alluvions.
D'autre côté nous croyons que les progrés dans les techniques d'analyse vont permettre la recherche hydrogéochimique de beaucoup d'éléments rares, jusqu'aujourd'hui considérés trop peu solubles.

1346 F - Nov.1962 - 1,000